

Министерство образования и науки Российской Федерации
 федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Инженерная школа энергетики
 Направление подготовки 13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника»
 Отделение школы (НОЦ): Отделение электроэнергетики и электротехники

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
ВЛИЯНИЕ СОЛНЕЧНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

УДК 551.521.31:678.01

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5AM86	Самойлов Илья Алексеевич		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭЭ	Леонов Андрей Петрович	к.т.н., доцент		

Консультант

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ОЭЭ	Матери Татьяна Михайловна			

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент отделения социально-гуманитарных наук	Спицына Л.Ю.	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель отделения общетехнических дисциплин	Фех А.И.			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭЭ	Леонов А.П.	к.т.н., доцент		

Министерство образования и науки Российской Федерации
 федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Инженерная школа энергетики
 Направление подготовки 13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника»
 Отделение школы (НОЦ): Отделение электроэнергетики и электротехники

УТВЕРЖДАЮ:
 Руководитель ООП
 _____ Леонов А.П.
 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Магистерской диссертации

Студенту:

Группа	ФИО
5AM86	Самойлову Илье Алексеевичу

Тема работы:

ВЛИЯНИЕ СОЛНЕЧНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	44-44/с от 13.02.2020

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Исследуемый в работе материал – этиленпропиленовая резина и сшитый полиэтилен Обзор отечественной и зарубежной литературы, техническое задание на выполнение работ.
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	1 Обзор литературы 2 Методическая часть 3 Экспериментальная часть 4 Раздел, выполненный на иностранном языке 5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение 6 Социальная ответственность
Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	—

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы (с указанием разделов)	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Доцент отделения социально-гуманитарных наук Спицына Л.Ю.
Социальная ответственность	Старший преподаватель отделения общетехнических дисциплин Фех А.И.
Иностранный язык	Доцент отделения иностранных языков Воробьева Виктория Владимировна
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
Литературный обзор	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	
---	--

Задание выдал руководитель/консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭЭ	Леонов Андрей Петрович	к.т.н., доцент		
Ассистент ОЭЭ	Матери Татьяна Михайловна			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5AM86	Самойлов Илья Алексеевич		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
5AM86	Самойлову Илье Алексеевичу

Школа	ИШЭ	Отделение школы (НОЦ)	Отделение электротехники и электроэнергетики
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника»

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	Бюджет проекта (капитальные вложения): не более 500 000 руб.
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	15% - доплаты и надбавки; 12% - дополнительная заработная плата; 30% - районный коэффициент; 16% - накладные расходы
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	28% - отчисления на социальные нужды

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <i>Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ</i>	Предпроектный анализ SWOT-анализ
2. <i>Разработка устава научно-технического проекта</i>	Формирование цели и результата проекта Формирование структуры проекта и ограничений
3. <i>Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок</i>	Формирование плана и графика разработки: - определение структуры работы; - определение трудоёмкости работы; - разработка графика Ганта.
4. <i>Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности</i>	Формирование бюджета на научное исследование: - материальные затраты на методы исследования; - заработная плата (основная и дополнительная); - отчисления на социальные цели; - накладные расходы; - сравнение затрат на два метода исследования. Показатель интегральной ресурсоэффективности: не менее 3,5

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. «Портрет» потребителя результатов НТИ
2. Оценка конкурентоспособности технических решений
3. Диаграмма FAST
4. Матрица SWOT
5. График проведения и бюджет НТИ
6. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НТИ

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	12.02.2020 г.
---	----------------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент отделения социально-гуманитарных наук	Спицына Л.Ю.	Кандидат экономических наук		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5AM86	Самойлов Илья Алексеевич		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
5AM86	Самойлову Илье Алексеевичу

Школа	Инженерная школа энергетики	Отделение (НОЦ)	Отделение электротехники и электроэнергетики
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника»

Тема ВКР:

ВЛИЯНИЕ СОЛНЕЧНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования (материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Объект исследования – разрывная машина Shimadzu
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: - специальные исследования, проектируемой рабочей зоны, правовые нормы трудового законодательства; - организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.	-Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 01.04.2019). -ГОСТ 12.2.049-80 ССБТ. Оборудование производственное. Общие эргономические требования.
2. Производственная безопасность: 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия	-Микроклимат в помещении; -Освещение рабочей зоны; -Воздействие повышенного напряжения; -Электробезопасность; -Воздействие подвижных частей машин; -Возгорание.
3. Экологическая безопасность:	-Выделение токсичных веществ; -Наличие отходов.
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	-выбор типичной ЧС – пожар. • разработка мер по предупреждению ЧС; • разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий.

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	14.02.2020
--	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
старший преподаватель	Фех Алина Ильдаровна			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5AM86	Самойлов Илья Алексеевич		

Оглавление

Реферат	7
Введение.....	8
1 Литературный обзор	11
1.1 Действие солнечного излучения на полимерные электроизоляционные материалы.....	11
1.2 Электроизоляционные материалы, применяемые при производстве низковольтных силовых кабелей.....	14
1.3 Методика оценки стойкости изоляции и оболочки кабельных изделий против действия солнечного излучения	21
1.4 Выводы и постановка задач на исследование	23
2 Методическая часть	24
2.1 Подготовка образцов	24
2.2 Методика определения предела прочности и относительного удлинения при разрыве	26
3 Экспериментальная часть.....	28
3.1 Объект исследования	28
3.2 Определение стойкости изделий к действию солнечного излучения стандартным методом.....	30
3.3 Определение влияния солнечного излучения на физико-механические свойства оболочки кабельных изделий.....	34
3.4 Обсуждение результатов эксперимента.....	38
4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение...	40
5 Социальная ответственность при исследовании стойкости изоляции (оболочек) кабельных изделий к действию солнечного излучения	62
Заключение	76
Приложение I.....	80

Реферат

Магистерская диссертация содержит страниц 93, рисунков 9, таблиц 30, использованных источников 33, 1 приложение. Ключевые слова: физико-механические свойства, изоляция, этиленпропиленовая резина, полимер, материал, метод, тепловое старение, испытание, сшитый полиэтилен.

Объектом исследования являются материалы – этиленпропиленовая резина и сшитый полиэтилен.

Целью работы является исследование влияния солнечного излучения на физико-механические характеристики полимерных оболочек кабельных изделий.

Было произведено облучение образцов в виде бухт кабелей в климатической камере тепла и солнечной радиации, после чего последовал визуальный осмотр в соответствии с ГОСТ 20.57.406-81.

Произведены испытания лопаток, изготовленных по ГОСТ ИЕС 60811-1-1-2011 на разрывной машине. В результате эксперимента обнаружено изменение физико-механических характеристик.

Область применения: электроэнергетика и электротехника.

Введение

Тема старения полимерных материалов стала актуальной сразу же после открытия первых полимерных изделий в середине 19 века, тогда же и начали изготавливаться первые изделия из резины, а затем и из других полимерных материалов. Практически сразу же открыли, что каучук можно вулканизовать, или иным словом сшивать.

В начале первого столетия своей насыщенной истории, производство и исследования полимеров развивалось очень стремительно. Во многом из-за большого разнообразия всевозможных размеров, форм и применения изделий из полимерных материалов, а также областей практического, а главное – практичного, применения полимеров, заменивших большую часть устаревших материалов.

Старение полимерных изделий может иметь различную причину своего проявления: влага; кислород, окисляющий изделие; свет, прямой или рассеянный; атмосферное давление; повышенная температура, озоновое излучение, пониженная температура, значительный перепад температур; ионизирующее облучение; повышенные нагрузки, чрезмерное давление, различные истирания, переменные или статические; активные химические среды; различные микроорганизмы; повышенная электрическая нагрузка. Помимо этого, многие из этих факторов могут провоцировать не только деполимеризацию или деструкцию, но даже структурирование молекулярных цепей.

Светостойкость – это одно из основных требований, которое предъявляется к кабельной продукции, если она используется в условиях открытой прокладки. Материалы, которые неспособны противостоять солнечному излучению могут потерять свои изначальные характеристики, может значительно уменьшиться прочность, измениться цвет, ухудшиться упругость, они могут начать выделять различные газы, в том числе токсичные. Излучение под действием солнечного света – процесс довольно длительный,

так как первые заметные признаки могут проявиться только через промежуток времени непрерывной эксплуатации на открытом воздухе порядка 3-5 лет, поэтому чаще на практике применяют ускоренный метод старения образцов.

Основная сложность старения образцов заключается в основном в том, что химическая природа полимеров очень разнообразна, а из этого следует, что процессы структурирования или деструкции каждого из полимерных материалов индивидуальны. Помимо этого, на эти процессы имеет очень большое влияние технологическая составляющая изготовления полимерных материалов, так как полимерные материалы крайне редко используются в виде чистых смол, а по большей части содержат ряд специальных добавок: катализаторы, различные наполнители, всевозможные стабилизаторы и антиоксиданты, различные добавки и другие. Поэтому часто даже незначительное изменение состава полимера приводит к существенному изменению свойств полимерного материала.

На сегодняшний день существующие критерии и методы оценивания стойкости полимерных материалов к солнечному излучению достаточно нечетки и условны, так как наблюдения степени старения полимерных материалов и изделий из полимеров ограничиваются лишь наличием или отсутствием видимых (хоть даже и с применением оптических средств) дефектов на поверхности изделия, таких как мельчайшие трещины, незначительное изменение цвета, формы или других признаков старения полимеров.

Во время процесса эксплуатации силовые кабельные линии подвергаются огромному ряду нагрузок, в том числе значительных механических. Так, например, примерами механической статической нагрузки могут служить изгиб кабеля при его монтажных работах, создающий значительное внутреннее напряжение на внешнем радиусе кабеля. В качестве же примера механической динамической нагрузки могут служить изгибы при изменении положения кабеля после монтажных работ, или даже небольшие вибрации от электрических установок.

Данные механические нагрузки со временем ослабляют силовые кабельные линии. Поэтому солнечное излучение является значительным фактором ускоренного механического старения оболочки кабеля при прокладке его на открытом воздухе, которая, следовательно, может привести к значительному ухудшению физико-механических свойств полимерного материала, и что гораздо важнее – к существенному уменьшению электрической прочности изоляции кабеля. Именно поэтому изучение стойкости оболочек из полимерных материалов и изоляции кабельных изделий к излучению солнечного света с учетом изменения физико-механических свойств на сегодняшний день является актуальной задачей.

Помимо этого, в реальных условиях использования, транспортировки или хранения на изделие из полимерных материалов одновременно действуют несколько постоянных, циклических или случайных факторов, что вынуждает проводить комплексные исследования старения полимеров и их методов защиты.

1. Литературный обзор

1.1 Действие солнечного излучения на полимерные электроизоляционные материалы

В процессе эксплуатации кабельные изделия, которые содержат в своем составе полимерные материалы, значительно подвержены солнечному излучению разной степени интенсивности и частоты и со временем постепенно деградируют и теряют свои изначальные свойства. Старение кабельных изделий начинается происходить от поверхностных слоев к внутренним и происходит тем быстрее, чем больше отношение толщины слоя полимера к площади поверхности. К примеру, для полимерных пленок, отношение толщины слоя к площади поверхности очень сильно сказывается на скорости изменения свойств и структуры полимерного материала.

Солнечное излучение, оно же фотостарение, является одним из основных факторов деградации кабельных изделий, имеет значительное влияние на основные физико-механические характеристики полимеров. Самым разрушительным действием на кабельные изделия обладает высокое энергетическое излучение с маленькой длиной волны [3]. Под данную категорию попадают ультрафиолетовая, видимая область спектра длин волн и ионизирующее излучение. Под воздействием солнечного излучения протекают многие реакции органических веществ. При этом цепная природа высокомолекулярных соединений определяет их высокую чувствительность к излучению. Так, например, молекулярная масса полимерных материалов при солнечном излучении изменяется гораздо быстрее [3].

Возможность превращений полимерных материалов под действием солнечного излучения определяется наличием в их цепях хромофорных групп, которые способны поглощать солнечный свет. Однако такие группы не всегда могут присутствовать в самой полимерной смоле, но они должны содержаться либо в виде примесей или ингредиентов композиции. Например, к группам, которые вызывают поглощение солнечного излучения в ультрафиолетовой

области спектра, относятся связи типа азот-азот, углерод-азот, углерод-углерод, углерод-кислород и другие. Однако одинарные связи углерод-углерод поглощают свет с длиной волны только менее 180 нанометров, что соответствует условиям полного вакуума, но при наличии двойных связей в этих же молекулах, поглощающая способность на больших длинах волн становится возможной, и чем больше тройных, двойных связей, тем лучше поглощающая способность полимерного материала [3].

В общем случае солнечное излучение можно инициировать как реакцию в цепи полимерного материала следующим образом:

- 1) сначала энергия, полученная от солнечного излучения, поглощается хромоформными группами, и они переходят в возбужденное состояние;
- 2) затем происходит миграция энергии и локализация её в низших электронных уровнях среди тех, что уже были возбуждены;
- 3) затем происходят первичные превращения и тушение возбужденных состояний;
- 4) завершают процесс вторичные реакции с участием радикалов и промежуточных продуктов первичных реакций.

Разрыв основной цепи макромолекулы в ходе деструкции после солнечного излучения может протекать по двум типам: по типу свободнорадикального механизма Нориша 1 типа, или же по механизму Нориша 2 типа, когда разрушению цепи может предшествовать передача атома водорода карбонильной группе. При этом реакции обоих типов могут протекать одновременно, но повышение температуры от солнечного излучения сказывается в большей степени на реакции первого типа, значительно ускоряя её.

Поэтому для защиты уязвимых кабельных изделий от солнечного излучения применяются специальные добавки – светостабилизаторы. Так же могут использоваться и иные методы защиты, например, модификация физической или химической структуры полимерного материала или специальные покрытия. Главным критерием светостабилизации является

торможение химических реакций в полимерном материале: как первичных фотохимических, так и вторичных свободнорадикальных. На сегодняшний день известно 4 основных механизма светостабилизации [2]. Однако при этом следует отметить, что нет строгого соответствия между светостабилизаторами и механизмами светостабилизации, так как в комбинации с разными полимерными материалами один и тот же светостабилизатор может взаимодействовать по разному механизму [13].

1.2 Электроизоляционные материалы, применяемые при производстве низковольтных силовых кабелей

Для изготовления оболочки и изоляции низковольтных силовых кабельных изделий применяются различные по физико-механическим, химическим и физико-химическим свойствам полимеры. Разделить их условно можно на термореактивные и термопластичные по реакции на увеличение температуры.

Термопластичные материалы, такие как полиэтилен, полипропилен или поливинилхлорид, при увеличении уровня температуры до уровня начала перехода в вязкотекучее состояние приобретают реологические свойства течения.

Следует помнить, что температура текучести не может быть определена точно, она определяется с точностью минимум до одного градуса, так как полимерные материалы полимеризуются по объему реактора неодинаково, а, следовательно, длина цепи и молекулярная масса, влияющие на температуры переходов от одного физического состояния в другое, полимерного материала имеют незначительные отклонения.

Термореактивные полимерные материалы при температурах вулканизации, которые находятся в довольно больших пределах, образуют между соседними макромолекулами поперечные химические связи. Сам процесс образования поперечных связей называется вулканизацией или сшивкой. Указанные полимерные материалы способны к образованию поперечных химических связей при добавлении из смолы вулканизирующих агентов (специальных добавок). Самыми распространенными в кабельной технике низких напряжений являются резины на основе синтетических или натуральных каучуков, а также сшитый полиэтилен.

Особого внимания заслуживают термоэластопласты – это полимеры на основе блок-сополимеров, которые обладают высокими эластичными свойствами, характерными для эластомеров, но при высоких температурах обратимо переходящие в вязкотекучее или пластическое состояние.

Возможность обратимого перехода из одного физического состояния в другое дает преимущества для переработки полимерных материалов и является ценным механическим свойством полимеров. Кроме того, при добавлении в полимеры термоэластопластов на основе полистирола, полипропилена, или некоторых других пластикаторов, можно увеличить морозостойкость и ударную прочность полимера. Примерами данного вида могут служить полиамидные, стирольные или полиуретановые термоэластопласты.

Все полимеры, которые используются в производстве, применяются в виде полимерных композиций, содержащих различные добавки и смолу полимера. Добавками могут быть пассивные или активные наполнители, агенты или активаторы превращений, красители, антистарители (антимикробные добавки, антиоксиданты или светостабилизаторы), и другие. Так же возможно использование в одной полимерной композиции нескольких полимеров, усиливающих некоторые свойства по отношению к аналогичным при раздельном использовании, то есть вступающих в синергизм друг с другом.

Отдельно рассмотрим самые важные свойства некоторых полимерных материалов, применяемых в электроизоляционной технике.

Полиэтилен.

Полиэтилен относится к классу полиолефинов, которые получают реакцией полимеризации радикального или ионного механизмов. Полиэтилен – это твердый материал белого цвета при толстом слое и прозрачный в тонком слое. Температура стеклования примерно $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$, что говорит о хорошей морозостойкости материала. Хорошие диэлектрические характеристики позволяют применять его в качестве изоляции для высокочастотных электротехнических изделий. Практически не растворим в воде. Весьма стоек против щелочей или кислот, но при нагревании выше $65\text{--}85\text{ }^{\circ}\text{C}$ растворяется в органических растворителях. В присутствии кислорода при длительном воздействии высокой температуры, наблюдается ухудшение физико-механических характеристик, что может говорить о наличии деструкции.

Помимо этого, под действием высоких температур может произойти сшивка молекул, что может использоваться на производстве сшитого полиэтилена, который обладает характеристиками, существенно отличающимися от свойств несшитого полиэтилена.

Производятся 3 основных вида полиэтилена: полиэтилен высокого давления или полиэтилен низкой плотности, полиэтилен низкого давления или полиэтилен высокой плотности, а также полиэтилен среднего давления.

Полиэтилен низкой плотности представляет собой разветвлённый полимер. Структура цепей, по большей части прямолинейная, она же и определяет высокую степень кристалличности (доходит до 75%). Но при увеличении температуры степень кристалличности уменьшается, и полимер станет аморфным при температуре 115 °С. Звенья главной цепи состоят из метиленовых групп и располагаются зигзагообразно. Имеются также пропильные, этильные и боковые бутильные группы. Полиэтилен низкой плотности в присутствии органических перекисей или кислорода в качестве инициатора реакции полимеризации получается из мономерных звеньев этилена. Процесс протекает по радикальному цепному механизму при давлении 130-350 МПа и температуре 220-300 °С. В этих пределах при увеличении давления и температуры реакция значительно ускоряется, но при этом изменяются степень разветвленности и молекулярный вес. Реакторы для полимеризации полиэтилена низкой плотности представляют собой вертикальные цилиндрические аппараты с перемешивающим устройством или трубчатые змеевики.

Полиэтилен среднего давления и высокой плотности отличаются более высокой степенью кристалличности, незначительной разветвлённостью, более прямой цепью, чем у полиэтилена низкой плотности. Это обеспечивает более высокую плотность, теплостойкость и предел прочности при разрыве, чем у полиэтилена низкой плотности. Полиэтилен высокой плотности более стойкий к различным кислотам или органическим растворителям и несколько более газонепроницаем.

Производство полиэтилена высокой плотности ведется при давлении 0,3-0,6 МПа и температуре 60-70 °С в присутствии комплексных металлоорганических катализаторов.

Полимеризация полиэтилена среднего давления происходит при давлении 3,6-5 МПа и температуре 140-180 °С в присутствии в качестве катализаторов окислов металлов.

Таблица 1 – Свойства полиэтилена

Показатели	Полиэтилен		
	низкой плотности	высокой плотности	среднего давления
Плотность, г/см ³	0,918 – 0,930	0,949 – 0,955	0,960 – 0,970
Показатель текучести расплава, г/10 мин	0,1 – 10	0,1 – 10	0,1 – 8
Разрушающее напряжение при растяжении, МПа	10 – 17	22 – 30	20 – 40
Разрушающее напряжение при изгибе, МПа	12 – 17	20 – 35	–
Относительное удлинение при разрыве, %	500-600	300-800	200-900
Твердость по Бринеллю, МПа	14-25	45-58	56-65
Температура плавления, °С	105-108	120-125	127-130
Температура хрупкости, °С	от -80 до -120	от -100 до -150	от -100 до -150
Удельное объемное электрическое сопротивление, ТОм·м	10 ²	10 ²	10 ²
Тангенс угла диэлектрических потерь при 1 МГц	3·10 ⁻⁴ -6·10 ⁻⁴	2·10 ⁻⁴ -5·10 ⁻⁴	2·10 ⁻⁴ -4·10 ⁻⁴
Диэлектрическая проницаемость при 1 МГц	2,3	2,1 – 2,4	2,3

Полипропилен.

Полипропилен представляет собой высокомолекулярный продукт полимеризации пропилена в бензине или пропане при давлении 1-4 МПа и температуре 65-70 °С. Это термопластичный полимер белого цвета с температурой плавления большей, чем у полиэтилена, но также и большей температурой стеклования. Следовательно, это более теплостойкий, но менее морозостойкий материал.

Полипропилен совершенно нерастворим в органических растворителях, кислотах или щелочах при комнатной температуре. При нагревании до 80 °С он начинает растворяться в ароматических и хлорированных углеводородах. Только сильные окислители, такие как олеум, азотная кислота способны оказать заметное действие. Однако, из-за наличия третичных атомов углерода, полипропилен склонен к окислительным видам деструкции в присутствии кислорода.

Таблица 2 – Свойства полипропилена

Молекулярный вес	80 000-200 000
Плотность, мг/м ³	0,9-0,91
Разрушающее напряжение при растяжении, МПа	25-40
Относительное удлинение при разрыве, %	200-800
Ударная вязкость, кДж/м ²	33-80
Твердость по Бринеллю, МПа	60-65
Температура плавления, °С	160-170
Теплостойкость, °С	160
Температура хрупкости, °С	от -5 до -15
Удельное объемное электрическое сопротивление, ТОм·м	$8 \cdot 10^2$
Тангенс угла диэлектрических потерь при 1 МГц	$2 \cdot 10^{-4} - 5 \cdot 10^{-4}$
Диэлектрическая проницаемость при 1 МГц	2,2
Водопоглощение за 24 ч, %	0,01 – 0,03

Полиизобутилен.

Полиизобутилен — это каучукоподобный материал, который получают полимеризацией изобутилена в присутствии катализаторов Фриделя-Крафтса. Обладает достаточно высокой стойкостью к влаге и разнообразным химическим агрессивным средам. Концентрированная азотная кислота способна разрушать полиизобутилен только при температуре выше 90°С. Растворим в хлорированных, ароматических или алифатических углеводородах или минеральных маслах.

Полиизобутилен имеет низкую газопроницаемость, высокие диэлектрические показатели, но невысокая физико-механическая прочность и высокая склонность к ползучести значительно ограничивают применение полиизобутилена. Однако, при добавлении в композицию на основе полиизобутилена активных наполнителей (талек, графит или сажа) уменьшается текучесть и увеличивается прочность. Кроме того, наполнители в большинстве своем являются хорошими светостабилизаторами.

В таблице 3 приведены основные свойства полиизобутилена.

Таблица 3 – Свойства полиизобутилена

Молекулярный вес	175 000 – 225 000
Плотность, мг/м ³	0,91 – 0,93
Разрушающее напряжение при растяжении, МПа	2-13,5
Относительное удлинение при разрыве, %	550-900
Температура стеклования, °С	-74
Температура хрупкости, °С	до -60
Удельное объемное электрическое сопротивление, ТОм·м	10-100
Тангенс угла диэлектрических потерь при 1 МГц	$2 \cdot 10^{-4}$ - $5 \cdot 10^{-4}$

Поливинилхлорид.

Поливинилхлорид – это аморфный белый полимер, который получают с помощью радикальной полимеризации винилхлорида с добавлением инициаторов. В промышленности наиболее широкое распространение получили эмульсионный и суспензионный методы полимеризации. Возможна также полимеризация в масле.

Поливинилхлорид обладает определенной стойкостью к растворению в смесях с ацетоном и диоксаном или углеводородах. С увеличением молекулярного веса растворимость уменьшается. Примечательным фактом является большая полидисперсность поливинилхлорида от 150 до 2600.

Нагрев выше 150°C приведет к термической деструкции поливинилхлорида, которая будет сопровождаться выделением хлористого водорода, что затруднит переработку поливинилхлорида, так как его температура текучести находится в диапазоне от 160 до 170°C . Во время процесса деструкции ухудшаются физико-механические свойства: уменьшается относительное удлинение при разрыве и возрастает хрупкость.

В электроизоляционной технике существуют и другие полимеры, но рассмотренные изделия применяются гораздо чаще и поэтому требуют особого внимания.

1.3 Методика оценки стойкости изоляции и оболочки кабельных изделий против действия солнечного излучения

На сегодняшний день процедуру испытания на стойкость к солнечному излучению должны проходить все изделия пищевой, электротехнической, медицинской, кабельной и других промышленности, если эти изделия спроектированы и эксплуатируются на открытом воздухе или других местах, где возможно облучение солнечным светом. Наибольший интерес представляет ультрафиолетовый и видимый спектры, так как свет с длиной волны менее 400 нм обладает самым губительным воздействием на полимеры. Но на практике свет с длиной волны менее 300 нм практически не проникает через верхние слои атмосферы на поверхность Земли. Солнечный свет видимого спектра, как правило, обладает незначительной фотохимической активностью по отношению к известным полимерам, к тому же слабо поглощается ими. Поэтому, изделия испытываются на стойкость к солнечному излучению в диапазоне длин волн от 300 нм до 400 нм.

Метод старения регламентирован ГОСТ 20.57.406-81, который присваивает испытанию на стойкость к световому излучению номер 211. В соответствии со стандартом испытания проводятся только после кондиционирования в нормальных климатических условиях, а в период старения в камере поддерживается определенная температура $t = 55 \pm 2^\circ \text{C}$. Влажность, как правило, не контролируется.

Кабельные изделия разрезаются на равные отрезки длиной полтора метра и сворачиваются бухты, после этого закрепляются в климатической камере. Образцы должны размещаться в климатической камере таким образом, чтобы самые уязвимые участки кабеля были подставлены под световой поток. Это может быть достигнуто вращением стола внутри камеры, как это использовалось при проведении испытаний в данной исследовательской работе.

Осмотр образцов изделий электротехнической и других видов промышленности является основным способом определения влияния солнечной радиации на состояние изделия. Данная методика достаточно субъективна и не позволяет в полной мере оценить влияние солнечного излучения на свойства изоляционных материалов и оболочек кабельных изделий, помимо всего прочего напрямую зависит от наблюдателя, что делает стандартную процедуру достаточно субъективной. Те стандартные критерии оценки, которые имеются на сегодняшний день, очень условные и значительно нечеткие.

Поэтому очевидно, что на основе субъективного осмотра нельзя утверждать о старении в исследовательском смысле.

1.4 Выводы и постановка задач на исследование

Исходя из приведенного выше материала можно сделать вывод, что светостойкость полимеров – это одно из основных требований к низковольтным силовым кабельным линиям, которые предназначены для прокладки и эксплуатации на открытом воздухе.

На сегодняшний день, существующая методика достаточно субъективна и не позволяет в полной мере оценить влияние солнечного излучения на свойства изоляционных материалов и оболочек кабельных изделий, помимо всего прочего напрямую зависит от наблюдателя, что делает стандартную процедуру достаточно субъективной. Те стандартные критерии оценки, которые имеются на сегодняшний день, очень условные и значительно нечеткие. Именно поэтому, сравнительный анализ стойкости к солнечному излучению по стандартной методике и определение изменения физико-механических параметров низковольтных силовых кабелей является актуальной задачей.

4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Целью данного раздела является обоснование изучения влияния солнечного излучения на физико-механические свойства полимерных материалов, при этом детально рассматриваются планово-временные и материальные показатели процесса проектирования. Данный раздел выполнен согласно методическим указаниям [18].

Достижение цели обеспечивается решением следующих задач:

- составление SWOT-анализа работы и эксплуатации ремонтно-механического цеха ферросплавного завода
- планирование технико-конструкторских работ
- определение ресурсной (ресурсосберегающей) эффективности проекта.

4.1. Предпроектный анализ

4.1.1. Потенциальные потребители результатов исследования

Для оценки потребителей результатов исследования составим карту сегментирования рынка услуг. Услугой является проведение исследование материалов по методам, изложенным в магистерской диссертации. Потенциальными потребителями являются исключительно юридические лица. Так испытания являются достаточно дорогостоящими, поэтому услуга будет интересна крупным и средним производственным компаниям, которые применяют материалы в своей деятельности.

В работе был рассмотрен материал, который применяется для изоляции кабельных изделий различного назначения и электрических машин в области машиностроения.

Из карты сегментирования рынка видно какие методы исследований предпочтительны для предприятий различного типа, в применении которых имеются различные материалы. Стандартный метод предпочтителен для крупных кабельных предприятий по причине очень высокой надежности полученных в ходе проведения испытаний результатов.

Таблица 9– Карта сегментирования рынка услуг

		Проведение исследований материалов	
		Стандартный метод	Альтернативные методы
ТИП КОМПАНИИ	Электротехнические (крупные и средние)		
	Пищевые (крупные и средние)		
	Медицинские (крупные и средние)		

4.1.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

Анализ конкурирующих разработок, существующих на рынке, необходимо проводить систематически, поскольку рынки пребывают в постоянном движении. Такой анализ помогает вносить коррективы в научное исследование, чтобы успешнее противостоять конкурентам.

Целесообразно проводить данный анализ с помощью оценочной карты. Оценочная карта сравнения двух перспективных методов определения энергии активации эластомеров представлена в таблице X, где K_1 – конкурентоспособность для стандартного метода, K_2 – для альтернативных методом.

Таблица 10 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических разработок

Критерий оценки	Вес критерия	Баллы		Конкурентоспособность	
		Б ₁	Б ₂	К ₁	К ₂
Технические критерии оценки ресурсоэффективности					
1.Надёжность	0,2	5	3	1	0,6
2.Удобство в эксплуатации (соответствие требованиям потребителей)	0,18	5	4	0,9	0,72
3.Энергоэкономичность	0,18	4	4	0,72	0,72
4.Уровень шума	0,02	4	5	0,08	0,1
5.Безопасность	0,1	4	3	0,4	0,3
6.Потребность в ресурсах памяти	0,04	1	2	0,04	0,08
7.Простота эксплуатации	0,04	3	3	0,12	0,12
8.Возможность подключения в сеть ЭВМ	0,04	3	4	0,12	0,16
Экономические критерии оценки эффективности					
1. Конкурентоспособность продукта	0,05	5	3	0,25	0,15
2. Цена	0,1	3	4	0,3	0,4
3. Предполагаемый срок эксплуатации	0,05	4	4	0,2	0,2
ИТОГО	1			4,13	3,55

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum B_i \cdot B_i ,$$

где K – конкурентоспособность научной разработки; B_i – вес показателя (в долях единицы); B_i – балл i -го показателя.

Согласно приведенной выше оценочной карте для сравнения конкурентных технических разработок, на сегодняшний день наиболее конкурентоспособным является первый метод исследования материалов. Это связано, в первую очередь со стоимостью, затрачиваемую на испытания, а также простотой методики. Однако, стоит отметить тот факт, что данный метод требует гораздо больших временных ресурсов [18] .

4.1.3 FAST-анализ

Суть функционально-стоимостного анализа (FAST-анализа) базируется на том, что затраты, связанные с созданием и использованием любого объекта, выполняющего заданные функции, состоят из необходимых для изготовления и эксплуатации и дополнительных, функционально неоправданных, излишних затрат, которые возникают из-за введения ненужных функций, не имеющих прямого отношения к назначению объекта, или связаны с несовершенством конструкции, технологических процессов, применяемых материалов, методов организации труда и т.д.

Проведение FAST-анализа предполагает шесть стадий:

Стадия 1. Объектом исследования FAST-анализа является установка.

Стадия 2. Главная функция установки – ускоренное тепловое старение материалов с целью определения необходимых характеристик.

Таблица 11 – Классификация функций, выполняемых объектом исследования

Выполняемая функция	Ранг функции		
	Главная	Основная	Вспомогательная
Определение температуры начала окисления материала		X	
Определение температуры плавления материала		X	
Измерение энтальпии	X		
Определение удельной теплоемкости материала	X		
Функция идентификации – автоматическая идентификация и интерпретация кривых			X
Функция автоматической обработки, которая автоматически анализирует неизвестные кривые измерений аморфных или полукристаллических полимеров			X

Стадия 3. Определение значимости выполняемых функций объектом. Для оценки значимости функций будем использовать метод расстановки

приоритетов, предложенный Блумбергом В.А. и Глущенко В.Ф. В основу данного метода положено расчетно-экспертное определение значимости каждой функции. На первом этапе необходимо построить матрицу смежности функции (Таблица 12).

Таблица 12 – Матрица смежности

	Функция 1	Функция 2	Функция 3	Функция 4	Функция 5	Функция 6
Функция 1	=	=	<	<	<	<
Функция 2	=	=	<	<	<	<
Функция 3	>	>	=	=	<	<
Функция 4	>	>	=	=	<	<
Функция 5	>	>	>	>	=	=
Функция 6	>	>	>	>	=	=

Примечание: «<» – менее значимая; «=» – одинаковые функции по значимости; «>» – более значимая.

Второй этап связан с преобразованием матрицы смежности в матрицу количественных соотношений функций (Таблица 13).

Таблица 13 – Матрица количественных соотношений функций

	Ф-ИЯ 1	Ф-ИЯ 2	Ф-ИЯ 3	Ф-ИЯ 4	Ф-ИЯ 5	Ф-ИЯ 6	ИТОГО/ Отн. значимость
Функция 1	1	1	0,5	0,5	0,5	0,5	4/0,11
Функция 2	1	1	0,5	0,5	0,5	0,5	4/0,11
Функция 3	1,5	1,5	1	1	0,5	0,5	6/0,17
Функция 4	1,5	1,5	1	1	0,5	0,5	6/0,17
Функция 5	1,5	1,5	1,5	1,5	1	1	8/0,22
Функция 6	1,5	1,5	1,5	1,5	1	1	8/0,22
Сумма $\sum_{36} / \sum 1$							
Примечание: «<» – 0,5; «=» – 1; «>» – 1,5.							

Стадия 4. Анализ стоимости функций, выполняемых объектом исследования. В данном случае объект исследования – цельная установка. Поэтому стоимость каждой функции одинакова.

Стадия 5. Построение функционально-стоимостной диаграммы объекта. Для данного объекта возможно только построить функциональную диаграмму (Рисунок X). Построенная диаграмма позволяет выявить наиболее важные функции [18].

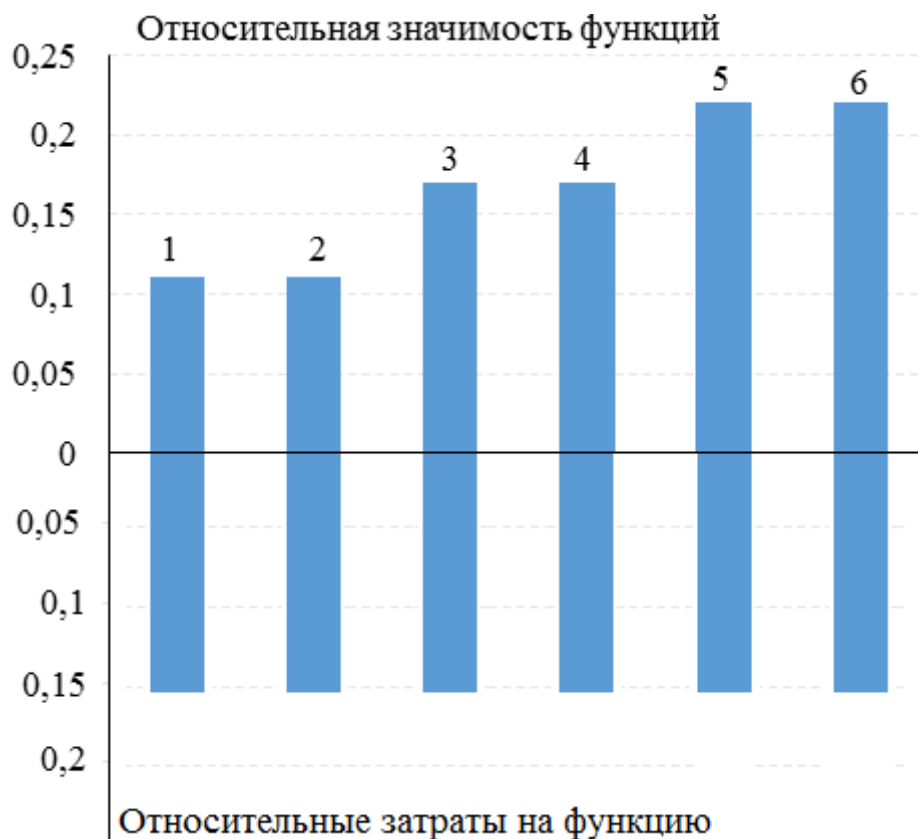


Рисунок 8 – Функционально-стоимостная диаграмма объекта

4.1.4 SWOT-анализ

SWOT-анализ представляет собой метод анализа планирования производственной или научной деятельности, разделяющий факторы или явления на следующие категории: strengths (сильные стороны), weaknesses (слабые стороны), opportunities (возможности) и threats (угрозы), и состоящий из нескольких этапов.

Первый этап заключается в описании сильных и слабых сторон проекта, в выявлении возможностей и угроз для реализации проекта, которые проявились или могут появиться в его внешней среде.

Результаты первого этапа SWOT-анализа представлены в таблице.

Таблица 14 – Матрица SWOT

	Сильные стороны:	Слабые стороны:
	<p>С1. Собственная научная и производственная база для исследований.</p> <p>С2. Соответствие материала необходимым техническим характеристикам.</p> <p>С3. Доработка недостающей информации о характеристиках исследуемого типа материала.</p> <p>С4. Квалифицированный производственный персонал.</p>	<p>Сл1. Затраты времени на проведение испытаний.</p> <p>Сл2. Дороговизна используемого материала по сравнению с аналогами.</p> <p>Сл3. Высокие требования к характеристикам исследуемого материала.</p> <p>Сл4. Необходимость сравнительного анализа характеристик.</p>
Возможности:		
В1. Увеличение срока службы исследуемого объекта.	B1C2C3C4;	B1Сл3;
В2. Использование продукта в агрессивных условиях эксплуатации.	B2C1C2;	B2Сл2Сл3Сл4;
В3. Создание методики оценки ресурса кабельных изделий в исследуемых условиях.	B3C1C2C3;	B3Сл1Сл2Сл4;
Угрозы:		
У1. Отсутствие спроса на материал	У1C2C3;	У1Сл2Сл3;
У2. Введение дополнительных требований к материалу	У2C1C2C3;	У2Сл1Сл2Сл3;
У3. Угрозы выхода из строя оборудования на основе исследуемого материала	У3C2C3;	У3Сл2Сл3.

На основании матрицы SWOT строятся интерактивные матрицы возможностей и угроз, позволяющие оценить эффективность проекта, а также надежность его реализации.

При построении интерактивных матриц используются обозначения аналогичные самой матрицы SWOT с дополнением знаков “+” и “-” для подробного представления наличия возможностей и угроз проекта (“+” – сильное соответствие; “-” – слабое соответствие).

Таблица 15 - Интерактивная матрица возможностей

Возможности	Сильные стороны проекта				
		С1	С2	С3	С4
	В1	-	+	+	+
	В2	+	+	-	-
	В3	+	+	+	-
	Слабые стороны проекта				
		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4
	В1	-	-	+	-
	В2	-	+	+	+
	В3	+	+	-	+

Таблица 16 - Интерактивная матрица угроз

Угрозы	Сильные стороны проекта				
		С1	С2	С3	С4
	У1	-	+	+	-
	У2	+	+	+	-
	У3	-	+	+	-
	Слабые стороны проекта				
		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4
	У1	-	+	+	-
	У2	+	+	+	-
	У3	-	+	+	-

Анализ интерактивных матриц, приведенных в таблицах и, показывает, что число сильных сторон у проекта количественно равно числу слабых. Аналогичная ситуация с количеством возможностей и угроз проведения исследований. Однако, если рассматривать возможности, то можно сделать вывод, что исследование будет эффективным, поскольку их влияние на сильные стороны проекта больше, чем на слабые. Что касается угроз, то влияние на сильные и слабые стороны одинаково.

4.2 Инициация проекта

В рамках процессов инициации определяются изначальные цели и фиксируются изначальные финансовые ресурсы. Определяются внутренние и внешние заинтересованные стороны проекта. Данная информация закрепляется в уставе проекта. Устав проекта документирует новый продукт, услугу или результат, который планируется создать.

Устав проекта имеет следующую структуру:

1. Цели и результат проекта.

На сегодня процедуру испытания на стойкость к фотостарению проходят все изделия электротехнической, пищевой, медицинской и других промышленности в тех случаях, если изделия спроектированы и предназначены для эксплуатации на открытом воздухе или иных местах, где возможно облучение светом, наибольший интерес представляет ультрафиолетовый спектр.

Таблица 17 – Заинтересованные стороны проекта

Заинтересованные стороны проекта	Ожидания сторон
Электротехническая промышленность	Создание материала стойкого к УФ- излучению
Пищевая промышленность	
Медицинская промышленность	

Таблица 18 – Цели и результаты проекта

Цель проекта:	Создание материала стойкого к УФ-излучению
Ожидаемые результаты проекта:	Результатом проекта являются показатели относительного удлинения и предела прочности при разрыве образцов четырех марок кабельных изделий
Критерии приемки результата проекта:	Исследование физико-механических характеристик произведено в соответствии с ГОСТ IEC 60811-1-1-2011
Требования к результату проекта:	Уменьшение предела прочности и увеличение относительного удлинения при разрыве не должны превышать допустимых норм

2. Организационная структура проекта

Для выполнения выпускной квалификационной работы требуются исполнители в лице научного руководителя (НР) и студента-дипломника (СД).

Таблица 19 – Рабочая группа проекта

ФИО, должность	Роль в проекте	Функции	Трудозатраты, час
Матери Т.М., ассистент	Руководитель и эксперт проекта	Отвечает за реализацию проекта, координирует деятельность участников проекта	160
Самойлов И.А., студент	Исполнитель по проекту	Выполняет работы по проекту	296

3. Ограничения и допущения проекта

Ограничения проекта – все факторы, которые могут послужить ограничением степени свободы участников проекта.

Таблица 20 – Ограничения проекта

Фактор	Ограничения/допущения
Бюджет проекта	Не более 500 000 руб.
Источник финансирования	АО «Сибкабель»
Сроки проекта	Продолжительность работ 40 рабочих дней
Дата утверждения плана управления проектом	16.03.2020
Дата завершения проекта	Не позднее 08.06.2020

Таблица 21 – «Портрет» потребителя

Наименование	Акционерное общество «Сибкабель»
Номенклатура выпускаемых изделий	свыше 20 тысяч марок кабелей и проводов
Состав завода	5 цехов основного производства
Производственная площадь цехов	60000 квадратных метров
Численность работающих	около 1170 человек

4.3 Планирование научно-исследовательской разработки

4.3.1 Структура работы в рамках научного исследования

Планирование комплекса работ по научному исследованию состоит из нескольких этапов:

- определение структуры работ в рамках научного исследования;
- определение участников каждой работы;
- установление продолжительности работ;
- построение графика проведения научного исследования.

Для выполнения выпускной квалификационной работы требуются исполнители в лице научного руководителя (НР) и студента-дипломника (СД). Также определяется перечень этапов в рамках исследования. Соотношение этапов и исполнителей приведены в таблице.

Таблица 22 – Перечень этапов работ и распределение исполнителей

<i>Основные этапы</i>	<i>№ раб</i>	<i>Содержание работ</i>	<i>Должность исполнителя</i>
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Научный руководитель
Выбор направления исследований	2	Обзор научной и технической литературы	Студент-дипломник
Проведение испытаний исследуемого объекта	3	Заготовка образцов исследуемого материала	Студент-дипломник
	4	Определение условий испытания	Студент-дипломник, научный руководитель
	5	Испытания образцов в соответствующих условиях	Студент-дипломник, научный руководитель
Обобщение и оценка результатов	6	Оценка результатов исследования	Студент-дипломник, Научный руководитель
Оформление отчета по научному исследованию	7	Составление пояснительной записки	Студент-дипломник
	8	Проверка выпускной квалификационной работы	Научный руководитель
Сдача выпускной квалификационной работы	9	Подготовка к защите ВКР	Студент-дипломник , Научный руководитель
	10	Защита ВКР	Студент-дипломник

4.3.2 Определение трудоёмкости выполнения проектировочных работ

Трудоёмкость выполнения научного исследования оценивается экспертным путем в человеко-днях на основе ряда вероятностных оценок, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов, и рассчитывается следующим образом:

$$t_{ож\ i} = \frac{3 \cdot t_{min\ i} + 2 \cdot t_{max\ i}}{5};$$

где $t_{ож\ i}$ - ожидаемая трудоёмкость выполнения i -ой работы, чел.-дн.; $t_{min\ i}$ - минимально возможная трудоёмкость выполнения заданной i -ой работы (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.; $t_{max\ i}$ - максимально возможная трудоёмкость выполнения заданной i -ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.

Исходя из ожидаемой трудоёмкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях T_{pi} , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями.

$$T_{pi} = \frac{t_{ож\ i}}{Ч_i};$$

где T_{pi} - продолжительность одной работы, раб. дн.; $t_{ож\ i}$ - ожидаемая трудоёмкость выполнения одной работы, чел.-дн.; $Ч_i$ - численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

Рассчитанные значения трудоёмкости и продолжительности работы для выбранных исполнителей приведены в таблице.

Таблица 23 - Календарная продолжительность работ

№	Название работы	Трудоёмкость работ, чел.-дн.						Длительность работ в рабочих днях	
		t_{min}		t_{max}		$t_{ожг}$			
		НР	СД	НР	СД	НР	СД	НР	СД
1	Составление и утверждение технического задания	1	-	2	-	1,4	-	1	-
2	Обзор научной и технической литературы	-	7	-	14	-	9,8	-	10
3	Заготовка образцов исследуемого материала	-	1	-	2	-	1,4	-	1
4	Определение условий испытания	1	1	3	3	1,8	1,8	2	2
5	Испытания образцов в соответствующих условиях	10	10	11	11	10,4	10,4	10	10
6	Оценка результатов исследования	1	3	3	5	1,8	3,8	2	4
7	Составление пояснительной записки	-	4	-	8	-	5,6	-	6
8	Проверка выпускной квалификационной работы	1	-	3	-	1,8	-	2	-
9	Подготовка к защите ВКР	2	2	5	5	3,2	3,2	3	3
10	Защита ВКР	-	1	-	1	-	1	-	1

4.3.3 Разработка графика проведения научного исследования

Наиболее удобным и наглядным в данном случае является построение ленточного графика проведения научных работ в форме диаграммы Ганта.

Диаграмма Ганта – горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.

График строится для ожидаемого по длительности исполнения работ в рамках технического проекта, с разбивкой по месяцам и декадам за период времени подготовки ВКР. На основе таблицы строим план-график проведения работ.

Таблица 24 – Диаграмма Ганта

№	Вид работ	Исп-ли	Расчетная продолжительность, раб.дн.	Продолжительность выполнения работы, раб. дн.																											
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
1	Составление и утверждение технического задания	НР	1																												
2	Обзор научной и технической литературы	СД	10																												
3	Заготовка образцов	СД	1																												
4	Определение условий испытания	НР	2																												
		СД	2																												
5	Испытания образцов в соответствующих условиях	НР	10																												
		СД	10																												
6	Оценка результатов исследования	НР	2																												
		СД	4																												
				29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40																
7	Составление пояснительной записки	СД	6																												
8	Проверка выпускной квалификационной работы	НР	2																												
9	Подготовка к защите ВКР	НР	3																												
		СД	3																												
10	Защита ВКР	СД	1																												
	- студент-дипломник (СД)																														

■ - студент-дипломник (СД)

■ - научный руководитель (НР)

Исходя из составленной диаграммы, можно сделать вывод, что продолжительность работ составит 40 рабочих дней. Из них:

- 37 дней - продолжительность работы студента-дипломника;
- 20 дней – продолжительность работы научного руководителя.

4.4.1 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

При планировании бюджета НТИ должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов расходов, связанных с его выполнением. Для формирования затрат проектирования используются следующие виды затрат: материальные затраты ТП, накладные расходы, основная ЗП участников проектирования, дополнительная заработная плата участников проектирования (премии) и отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления) и амортизация используемого оборудования.

4.4.2 Расчет материальных затрат

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$З_m = \sum_{i=1}^m Ц_i \cdot N_{расч\ i},$$

где m – количество видов материальных ресурсов; $N_{расч\ i}$ – количество материальных ресурсов i -го вида, планируемых к использованию (натур. ед.); $Ц_i$ – цена приобретения единицы i -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./натур. ед.).

Таблица 25 – Материальные затраты (для метода ДСК)

Наименование	Количество	Цена за ед., руб.	Затраты на материалы, ($З_m$), руб.
Кабель HoldCabEPRLVHF(AF) 4x2,5ок(N)-1	6	450	3105
Кабель Hold Cab EPR LV TSF(C) 4x25 мк(N)-1	2	800	1840
Кабель Hold Cab EPR LV TSF(C) 3x2,5 ок(N)-1	6	500	3450
Кабель Hold Cab EPR LV P(C) 4x2,5 ок(N)-1	6	500	3450
Нож	1	200	230
Ножницы по металлу	1	500	575
Перчатки	1	30	34,5
Маркер	1	60	69
Линейка	1	20	23
Бумага	1	200	230
Ручка	2	15	46
Итого			13053

4.4.3 Расчёт затрат на оборудование

Стоимость оборудования, используемого при выполнении конкретного научного проекта и имеющегося в данной научно-технической организации, учитывается в виде амортизационных отчислений.

Амортизация основных средств рассчитывается по формуле:

$$A = ПС \cdot n,$$

где A – месячная сумма амортизационных отчислений, $ПС$ – первоначальная стоимость оборудования, n – ежемесячная амортизация ($n = 1/СПИ$).

В данном случае СПИ – это средняя продолжительность использования оборудования в месяц.

Для проведения исследования необходимы разрывная машина (срок службы 15 лет/180 месяцев), 3 климатических камеры (срок службы 10 лет/120 месяцев), микрометр (срок службы 6 лет/72 месяца).

$$ПС_1 = 300\,990 \text{ руб.};$$

$$3 \cdot ПС_2 = 3 \cdot 677\,800 = 2\,033\,400 \text{ руб.};$$

$$ПС_3 = 1\,129 \text{ руб.};$$

$$n_1 = 1/180 = 0,0056;$$

$$n_2 = 1/120 = 0,0083;$$

$$n = 1/72 = 0,014.$$

Тогда амортизация основных:

$$A_1 = 300\,990 \cdot 0,0056 = 1\,685,54 \text{ руб.},$$

$$A_2 = 2\,033\,400 \cdot 0,0083 = 16\,877,22 \text{ руб.},$$

$$A_3 = 1\,129 \cdot 0,014 = 15,81 \text{ руб.},$$

$$\Sigma A = 1\,685,54 + 16\,877,22 + 15,81 = 18\,578,57 \text{ руб.}$$

Так как исследование проводится 4,3 месяца, сумма амортизационных отчислений составит $A_{ФММ} = 4,3 \cdot 18\,578,57 = 79\,887,85 \text{ руб.}$

4.4.4 Полная заработная плата исполнителей исследования

Полная заработная плата включает основную и дополнительную заработную плату. Определяется она согласно следующей формуле:

$$З_{полн} = З_{осн} + З_{доп},$$

где $З_{осн}$ – заработная плата основная; $З_{доп}$ – заработная плата дополнительная.

Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы окладов и тарифных ставок.

Зарботная плата инженера определяется по формуле:

$$Z_{полн} = Z_{осн} + 0,12 \cdot Z_{осн}.$$

Размер основной заработной платы определяется по формуле:

$$Z_{осн} = Z_{\partial} \cdot T_p,$$

где Z_{∂} – среднедневная заработная плата; T_p – суммарная продолжительность работ (исследования), выполняемая сотрудником.

Размер среднедневной заработной платы рассчитывается по формуле:

$$Z_{\partial} = \frac{Z_m \cdot M}{F_{\partial}},$$

где Z_m – месячный оклад научно-технического работника; M – количество месяцев работы без отпуска ($M = 10,95$ для пятидневной рабочей недели и отпуске в 32 рабочих дня); F_{∂} – действительный годовой фонд научно-технического персонала (определяется за вычетом выходных, праздничных и больничных дней).

Месячный оклад научно-технического работника определяется по формуле:

$$Z_m = Z_{ТС} \cdot (1 + k_{np} + k_{\partial}) \cdot k_p,$$

где $Z_{ТС}$ – заработная плата по тарифной ставке; k_{np} – премиальный коэффициент, 0,3; k_{∂} – коэффициент доплат и надбавок, 0,15; k_p – районный коэффициент (принимается для Томской области (Сибирского региона) – 1,3).

Размер заработной платы по тарифной ставке определяется по формуле:

$$Z_{ТС} = T_{ci} \cdot k_T,$$

где T_{ci} – тарифная ставка работника; k_T – тарифный коэффициент в зависимости от ставки.

С помощью вышеперечисленных формул найдём основную заработную плату руководителя НТИ (тарифная ставка – усредненное значение для работников кабельной промышленности):

$$З_{ТС} = T_{ci} \cdot k_T = 22000 \cdot 1,2 = 26400 \text{ руб.};$$

$$З_{м} = З_{ТС} \cdot (1 + k_{пр} + k_{\partial}) \cdot k_p = 26400 \cdot (1 + 0,3 + 0,15) \cdot 1,3 = 49764 \text{ руб.};$$

$$З_{\partialи} = \frac{З_{м} \cdot M}{F_{\partial}} = \frac{49764 \cdot 10,95}{365 - 117} = 2197,24 \text{ руб.};$$

$$З_{осн} = З_{\partial} \cdot T_p = 2197,24 \cdot 35 = 76903,4 \text{ руб.};$$

$$З_{полн} = З_{осн} + 0,12 \cdot З_{осн} = 76903,4 + 0,12 \cdot 76903,4 = 86131,81 \text{ руб.}$$

Аналогично проводим расчет заработной платы инженера:

$$З_{ТС} = T_{ci} \cdot k_T = 15000 \cdot 1 = 15000 \text{ руб.};$$

$$З_{м} = З_{ТС} \cdot (1 + k_{пр} + k_{\partial}) \cdot k_p = 15000 \cdot (1 + 0,3 + 0,15) \cdot 1,3 = 28275 \text{ руб.};$$

$$З_{\partialи} = \frac{З_{м} \cdot M}{F_{\partial}} = \frac{28275 \cdot 10,95}{365 - 117} = 1248,43 \text{ руб.};$$

$$З_{осн} = З_{\partial} \cdot T_p = 1248,43 \cdot 91 = 113607,13 \text{ руб.};$$

$$З_{полн} = З_{осн} + 0,12 \cdot З_{осн} = 113607,13 + 0,12 \cdot 113607,13 = 127239,99 \text{ руб.}$$

4.4.5 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

В данной статье расходов отражаются обязательные отчисления в соответствии с законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования (ФСС) – 2,9%, пенсионного фонда (ПФ) – 20%, медицинского страхования (ФФОМС) – 5,1% от затрат на оплату труда работников.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$З_{вкб} = k_{вкб} \cdot (З_{осн} + З_{доп}),$$

где $k_{внб}$ – коэффициент отчислений за уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и прочее)

На основании пунктов 4-6 части 1 Федерального закона № 407-ФЗ от 01.12.2014 в 2020 году вводится суммарная ставка – 28 %.

Отчисления во внебюджетные фонды составят:

$$З_{внеб1} = 0,28 \cdot 86131,81 = 24116,91 \text{ руб.}$$

$$З_{внеб2} = 0,28 \cdot 127239,99 = 35627,19 \text{ руб.}$$

Расчёты заработной платы и отчисления во внебюджетные фонды сводим в Таблицу 26.

Таблица 26 – Размер заработной платы и величина отчисления во внебюджетные фонды

№	Сотрудник	T_{ci}	$З_{ТС}$	$З_{м}$	$З_{он}$	$З_{осн}$	$З_{доп}$	$З_{п}$	$З_{внб}$
1	Руководитель	22000	26400	49764	2197,24	76903,4	9228,41	86131,81	24116,91
2	Инженер	15000	15000	28275	1248,43	113607,13	13632,86	127239,99	35627,19
ИТОГО								213371,8	59744,1

4.4.6 Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, которые не включенные в предшествующие статьи расходов: ксерокопирование и печать материалов исследования, оплата электроэнергии, связи, почтовые и расходы и т.д. Их величина определяется по следующей формуле:

$$З_{накл} = З_{проч} \cdot k_{нр} = (З_{осн} + З_{доп} + З_{внеб}) \cdot 0,16 = 43698,54 \text{ руб.},$$

где $k_{нр}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы.

Величина коэффициента накладных расходов принимается в размере 16% [19].

4.4.7 Формирование сметы технического проекта

Рассчитанная величина затрат технического проекта составляет основу для формирования бюджета затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку проекта.

Таблица 27 – Сумма затрат на исследование

Наименование статьи	Сумма, руб.	Доля, %
1. Материальные затраты	13053	3,19
2. Амортизация основных средств	79 887,85	19,5
3. Затраты по полной заработной плате исполнителей темы	213 371,80	52,07
4. Отчисления во внебюджетные фонды	59 744,10	14,58
5. Накладные расходы	43 698,54	10,66
ИТОГО	409755,29	100

Исходя из сметы затрат, на технический проект требуется 409755,29 рублей.

4.5 Оценка сравнительной эффективности исследования

Определение ресурсоэффективности проекта можно оценить с помощью интегрального критерия ресурсоэффективности по формуле:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i;$$

где I_{pi} - интегральный показатель ресурсоэффективности; a_i - весовой коэффициент разработки; b_i - балльная оценка разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания.

Оценку характеристик проекта проведем на основе критериев, соответствующих требованиям к исследуемому изоляционному материалу и готовому кабельному изделию:

1. Стойкость – одно из свойств полимера, характеризующее возможность изменения его характеристик при воздействии внешних факторов.

2. Безотказность – это свойство объекта непрерывно сохранять работоспособное состояние в течение некоторого времени или наработки.

3. Негорючесть – это комплексная характеристика материала или конструкции кабельного изделия противостоять возгоранию и распространению процесса горения.

4. Эластичность – это свойство полимерного тела восстанавливать свою форму и размеры после прекращения действия внешних сил.

5. Дешевизна – низкий уровень цен на используемые в конструкции материалы.

6. Экологичность – это свойство, характеризующее безопасное влияние на окружающую среду при обработке или переработке материала.

Критерии ресурсоэффективности и их количественные характеристики приведены в таблице 28.

Таблица 28 – Сравнительная оценка характеристик проекта

Критерии	Весовой коэффициент	Балльная оценка
1. Стойкость	0,2	5
2. Безотказность	0,22	5
3. Негорючесть	0,15	4
4. Эластичность	0,18	4
5. Дешевизна	0,1	3
6. Экологичность	0,15	5
Итого	1,00	

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности технического проекта составит:

$$I_p = 5 \cdot 0,2 + 5 \cdot 0,22 + 4 \cdot 0,15 + 4 \cdot 0,18 + 3 \cdot 0,1 + 5 \cdot 0,15 = 4,47;$$

Показатель ресурсоэффективности проекта имеет достаточно высокое значение (по 5-балльной шкале), что говорит об эффективности использования

технического проекта. Высокие баллы стойкости и безотказности позволяют судить о надежности используемого материала.

В результате выполнения поставленных задач по данному разделу, можно сделать следующие выводы:

- в результате проведения SWOT-анализа были выявлены сильные и слабые стороны выбора технического проекта. Установлено, что технический проект будет эффективным, так как влияние возможностей на сильные стороны проекта больше, чем на слабые, когда количество сильных и слабых сторон одинаково;
- при планировании технических работ был разработан график занятости для двух исполнителей, составлена ленточная диаграмма Ганта, позволяющая оптимально скоординировать работу исполнителей;
- оценка ресурсоэффективности проекта, проведенная по интегральному показателю, дала высокий результат (4,47 по 5-балльной шкале), что говорит об эффективности реализации технического проекта.

5 Социальная ответственность

Безопасность жизнедеятельности представляет собой систему законодательных актов и соответствующих им социально-экономических, технических, гигиенических, организационных мероприятий, обеспечивающих безопасность, сохранение здоровья и работоспособности человека в процессе труда.

Данный раздел посвящен вопросам обеспечения безопасности и экологичности исследования полимерных материалов, нормативных условий труда при работе с разрывной машиной Shimadzu, а также вопросам экологической безопасности и обеспечении безопасности работников при возникновении ЧС. Данная установка непосредственно эксплуатируется при выполнении практической части магистерской диссертации.

Рассмотрение данных вопросов отвечает требованиям, в соответствии с законодательством Российской Федерации, к деятельности организаций в области социальной ответственности по тем разделам его модулей, по которым должны быть приняты указанные проектные решения.

5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

5.1.1 Специальные правовые нормы трудового законодательства

На предприятии ООО «Сибкабель», где эксплуатируется разрывная машина марки Shimadzu, установлена пятидневная рабочая неделя с двумя выходными, время начала и окончания работы, время перерывов работы, число смен в сутки, которые устанавливаются правилами внутреннего трудового распорядка в соответствии с трудовым законодательством и иными нормативными правовыми актами. Как правило, рабочая неделя составляет 40 часов [20].

Защита персональных данных работника нормируется [1]. Работодатель несет ответственность за нарушение норм, регулирующих обработку и защиту персональных данных работника в соответствии с законодательством РФ.

Виды компенсаций при работе во вредных условиях труда: сокращенная продолжительность смены, ежегодный дополнительный оплачиваемый отпуск, повышение оплаты труда и др. Класс условий труда, при работе на данной установке 1-2, то есть условия труда являются оптимальными, компенсации в данном случае не предусмотрены.

5.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны

Конструкция и расположение установки должны обеспечивать возможность удобства выполнения трудовых действий. Основные требования к правильному расположению и компоновке рабочей зоны исследователя, проектируемой рабочей зоны в производственных условиях для создания комфортной рабочей среды приведены в [21]. Также в помещении с установкой должны быть допустимые климатические показатели, показатели освещенности, обеспечены меры пожарной и химической безопасности и обеспечено надёжное заземление.

5.3 Производственная безопасность

5.3.1 Анализ вредных и опасных факторов, которые может создать объект исследования и которые могут возникнуть при проведении исследований

К вредным факторам, согласно [23], которые могут присутствовать при работе на используемой разрывной машине, относятся факторы, приведенные в Таблице 29.

Таблица 29 – Возможные опасные и вредные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ			Нормативные документы
	Разработка	Изготовление	Эксплуатация	
1. Отклонение показателей микроклимата	+	+	+	ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны. СанПиН 2.2.4.548–96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
2.Отсутствие или недостаток естественного света	+	+	+	СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278–03. Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещённому освещению жилых и общественных зданий.
3.Недостаточная освещённость рабочей зоны	+	+	+	СанПиН 2.2.4.548–96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
4.Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека			+	ГОСТ 12.1.019-2017 ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты. ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов.
5.Поражение электрическим током			+	ГОСТ 12.1.019-2017 ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты. ГОСТ 12.1.030-81 ССБТ. Электробезопасность.
6. Воздействие подвижных частей машин и механизмов			+	ГОСТ Р ИСО 14738-2007. Безопасность машин. Антропометрические требования при проектировании рабочих мест.
7. Возможное возгорание			+	Федеральный закон от 22.07.2013 г. №123 – ФЗ, Технический регламент о требованиях пожарной безопасности.

5.3.2 Микроклимат

Температура, относительная влажность, скорость движения воздуха и интенсивность теплового излучения в рабочей зоне производственных помещений должны соответствовать нормам [24].

Данные показатели определяют самочувствие рабочего персонала. Поэтому необходимо поддерживать следующие оптимальные параметры климата (Таблица 30), обеспечивающие наибольшую вероятность сохранения здоровья и наибольшую производительность труда [24].

Таблица 30 – Оптимальные и допустимые нормы температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха в рабочей зоне производственных помещений

Сезон года	Категория работ	Температура, °С		Относит. влажность, %		Скорость движения воздуха, м/с	
		Оптим.	Допуст.	Оптим.	Допуст.	Оптим.	Допуст.
Холодный	Ср. тяжести	17-19	15-21	40-60	<75	0,2	<0,4
Тёплый	Ср. тяжести	20-22	16-27	40-60	<70	0,3	0,2-0,5

Для обеспечения нормального микроклимата предусматривается использовать: вентиляцию приточно-вытяжную, установку центробежных вентиляторов, герметизацию технологического оборудования, установку систем местных отсосов для удаления вредных, пожароопасных и взрывоопасных веществ от мест их образования и выделения, а также установку систем воздушного отопления [24].

5.3.3 Освещение

Основные требования, которые предъявляются к освещению, заключаются в том, чтобы с его помощью создать наиболее благоприятные условия для работы зрительного аппарата человека. Кроме того, оно должно удовлетворять [26].

Недостаточное освещение рабочего места и помещения является вредным фактором для здоровья человека, вызывающим ухудшение зрения. Неудовлетворительное освещение может являться причиной травматизма. Неправильная эксплуатация, могут привести к пожару, несчастным случаям. При таком освещении снижается производительность труда и увеличивается количество допускаемых ошибок.

Существует три вида освещения – естественное, искусственное и комбинированное. В кабинете с установкой применяется комбинированная система общего освещения: осуществляется равномерное освещение кабинета люминесцентными лампами ЛД.

Согласно [26], в кабинете естественного освещения при комбинированном освещении составляет: $KEO=3\%$, а освещённость при комбинированном освещении от общего освещения должна составлять 200 Лк, а на рабочих местах – 750 Лк. Так же предусматривается аварийное освещение с наименьшей освещённостью рабочих мест при аварийном режиме 2 Лк, эвакуационное освещение освещённостью не менее 0,5 Лк на уровне пола основных проходов и лестниц, а на открытых территориях – не менее 0,2 Лк.

5.3.4 Защита от случайного прикосновения

Наибольшую опасность при эксплуатации различных электрических устройств - представляет поражение электрическим током вследствие присоединения к токоведущим частям аппаратуры и к частям прибора, находящимся под напряжением.

Возможность поражения электрическим током требует проведения мероприятий по его устранению:

- все лица, приступающие к работе с электрооборудованием, проходят инструктаж на рабочем месте, допуск к самостоятельной работе разрешается лишь после проверки знаний техники безопасности;

- осуществляется постоянный контроль качества и исправности защитных приспособлений и заземлении, ремонтно-наладочные работы на действующих электроустановках производится только с использованием защитных средств;
- эксплуатация электроустановок предусматривает введение необходимой технической документации; обеспечивается недоступность к токоведущим частям, находящимся под напряжением; корпуса приборов и электроустановок заземляются [28,29].

5.3.5 Защитное заземление

Защитное заземление – преднамеренное электрическое соединение с землей или ее эквивалентом металлических нетоковедущих частей, которые могут оказаться под напряжением вследствие замыкания на корпус и по другим причинам (индуктивное влияние соседних токоведущих частей, вынос потенциала, разряд молнии и т.п.).

Данные для расчёта заземления:

1. Заземление необходимо выполнить для установки, работающей под напряжением 380 В.
2. Для заземления используем трубы диаметром 4 мм. и длиной 2,5 м. и сталь полосовую 18х4 мм.
3. Заземлители расположены в ряд.
4. Характер грунта в месте установки заземления — глина. Заземлители установлены на глубину (от верхнего конца трубы) 17 см., а расстояние между трубами принимаем равной трём длинам заземлителей, т.е. $a=2$ м.

Верхние концы соединены с помощью полосовой стали. Определим, что для данного случая по нормам допускается сопротивление не более 4 Ом. Удельное сопротивление глины составляет $\rho_T = 0,6 \cdot 10^4 \text{ Ом} \cdot \text{см}.$

Учитывая применение грунта зимой и просыхания его летом, определяем расчётные значения ρ_{ϑ} и ρ_n при использовании трубчатых заземлителей соединительной полосы и соединительной полосы:

$$\rho_{\vartheta} = \rho_T \cdot K_{\vartheta} = 0,6 \cdot 10^4 \cdot 1,9 = 1,14 \cdot 10^4 \text{ Ом} \cdot \text{см},$$

где $K_{\vartheta} = 1,9$ – коэффициент для вертикальных электродов;

$$\rho_n = \rho_T \cdot K_n = 0,6 \cdot 10^4 \cdot 5 = 3 \cdot 10^4 \text{ Ом} \cdot \text{см},$$

где $K_n = 5$ – коэффициент для горизонтальных электродов.

Определим величину сопротивлений одной забитой в землю трубы по выражению:

$$R_{\vartheta} = \frac{\rho_{\vartheta}}{2 \cdot \pi \cdot l_m} \cdot \left(\ln \frac{2 \cdot l_m}{d} + 0,5 \cdot \frac{4 \cdot h_m + l_m}{4 \cdot h_m \cdot l_m} \right),$$

где h_m – глубина заземления, $h_m = 750$ см.;

$$R_{\vartheta} = \frac{1,14 \cdot 10^4}{6,28 \cdot 250} \cdot \left(\ln \frac{2 \cdot 250}{0,4} + 0,5 \cdot \frac{750 + 250}{750 \cdot 250} \right) = 54,4 \text{ Ом},$$

Определим число заземлителей:

$$n = \frac{R_{\vartheta}}{Z} = \frac{54,4}{6} = 9 \text{ шт.},$$

Учитывая, что трубы соединены заземлительной полосой, которая выполняет роль заземлителя, уменьшаем число труб до 6 штук. Определим длину соединительной полосы:

$$l_m = 1,05 \cdot a \cdot (n - 1) = 1,05 \cdot 2 \cdot (6 - 1) = 10,5 \text{ м.},$$

где n – число заземлителей;

a – расстояние между заземлителями.

Размер резервуара 5х5 м, длина соединительной полосы вписывается в его размер.

Результирующее сопротивление (полосы и трубы) с учётом коэффициента использования труб $J_{\vartheta} = 0,85$ и полосы $J_n = 0,86$ определяется по формуле:

$$R_{\vartheta} = \frac{R_{\vartheta} \cdot R_n}{R_{\vartheta} \cdot J_n + R_n \cdot J_{\vartheta} \cdot n} = \frac{54,4 \cdot 7,26}{54,4 \cdot 0,86 + 7,26 \cdot 0,85 \cdot 9} = 3,85 \text{ Ом}.$$

Данная величина удовлетворяет требованиям защитного заземления. Контроль заземления производится при приёме в эксплуатацию, а также периодически, в сроки, установленные правилами, при перекомпоновке оборудования и ремонте заземлителей.

Схема расположения устройства защитного заземления по отношению к резервуару показана на рисунке 9.

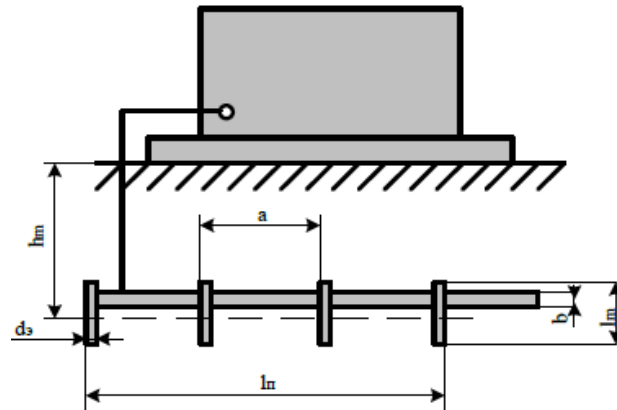


Рисунок 9 – Схема защитного заземления

В данном случае выполняем выносное заземление. Заземление корпуса находится вне поля растекания и человек, касаясь корпуса, оказывается под полным напряжением относительно земли. Выносное заземление защищает за счёт малого сопротивления заземлителей [31].

5.4 Защита от воздействия движущихся частей машин и механизмов

Источником воздействия может быть сама установка, на которой проводятся испытания. Воздействие данного фактора на организм человека может привести к различным увечьям.

К средствам защиты от действия движущихся частей машин относятся: соблюдение допустимых расстояний (для данных типов машин расстояние, указанное в паспорте, составляет 0,2 м.), предохранительные защитные устройства, предназначенные для автоматического отключения агрегатов и машин при отклонении какого-либо параметра, характеризующего режим

работы оборудования, за пределами допустимых значений. Таким образом, при аварийных режимах (увеличении давления, температуры, рабочих скоростей, силы тока, крутящих моментов и т.п.) исключается возможность взрывов, поломок, воспламенений [33]. В соответствии с [32] предохранительные устройства по характеру действия бывают блокировочными и ограничительными. К предохранительным устройствам относят ограничители хода как в горизонтальном, так и в вертикальном направлениях, изготовленные в виде упоров, концевых выключателей и т. п.

К средствам коллективной защиты по расстоянию опасного воздействия можно отнести блокировочные устройства. Блокировочные устройства препятствуют проникновению человека в опасную зону, либо во время пребывания его в этой зоне устраняют опасный фактор.

Механическая блокировка представляет собой систему, обеспечивающую связь между ограждением и тормозным (пусковым) устройством.

5.5 Защита от возможного возгорания

Помещение лаборатории по степени пожароопасности относится к классу П-2а, так как в нем отсутствует выделение пыли и волокон во взвешенном состоянии. Основными причинами пожара могут быть: перегрузка проводов, короткое замыкание, большие переходные сопротивления в электрических цепях, электрическая дуга, искрение и неисправности оборудования [22].

К мерам предотвращения пожара относятся: применение средств защитного отключения возможных источников загорания, применение искробезопасного оборудования, устройства молниезащиты здания, выполнения правил (инструкций) по пожарной безопасности.

Организационно-технические мероприятия: обеспечить подъезды к зданию; обесточивание электрических кабелей; наличие пожарных щитов и ящиков с песком в коридорах, асбестовое полотно; наличие гидрантов с

пожарными рукавами; тепловая сигнализация; телефонная связь с пожарной охраной; огнетушители: химический пенный ОХП-10.

5.6 Обоснование мероприятий по снижению уровней воздействия опасных и вредных факторов на исследователя

Рассмотрим критерии, обеспечивающие снижение уровня воздействия указанных выше опасных и вредных факторов на исследователя. В качестве его выберем «принцип защиты». По данному критерию методы и средства защиты исследователя представлены следующим образом.

1. Нормализация условий труда. Суть данного метода заключается в проведении организационных и технических мероприятий, направленных на снижение уровня опасных и вредных факторов, которые способны вызывать риск ухудшения здоровья. План мероприятий по охране труда в процессе аттестации рабочих мест по условиям труда реализуется план мероприятий по охране труда, в который включается:

- замена или модернизация применяемого на предприятии оборудования, которое на данный момент уже не может удовлетворять современным требованиям безопасности труда;
- оснащение средствами коллективной защиты помещений, технологического оборудования и рабочих мест (к таким средствам защиты относят, например, вентиляцию, дополнительные и современные приборы освещения, ограждения и др.);
- совершенствование технологического процесса, для уменьшения вредных выбросов, вибрации, шума и т.п.;
- проведение профилактических, ремонтных работ, периодических осмотров и замены тех средств коллективной защиты, которые имеются на территории организации, но частично или в полной мере не выполняют своих защитных функций.

2. Защита расстоянием. Суть данного метода заключается в том, чтобы по возможности устранить зоны пересечения исследователем или рабочим тех мест, где проходит основная часть технологического процесса организации. Достигается следующими способами:

- с целью создания физической преграды для человека ограждение опасных зон. Данные барьеры предотвращают приближение человека к источнику опасности, возможность захвата его частей тела или одежды движущимися элементами оборудования, ожога от нагретых поверхностей;
- применение автоматизированных систем управления с максимальным удалением диспетчеров от зоны воздействия вредных и опасных факторов, а также применение роботизированной техники.
- документальное нормирование минимально допустимых расстояний между диспетчером или оператором и источником повышенной опасности и др.

3. Защита временем. Данный метод используется в тех случаях, когда первые два метода невозможно применить по техническим причинам или их реализация не дает удовлетворительного результата. В таком случае нормативно устанавливается допустимое время пребывания человека в зоне повышенной опасности или вредности (например, в условиях воздействия ионизирующего излучения, вблизи мощных источников электромагнитного излучения и др.). Работнику может устанавливаться: сокращенная рабочая неделя (например, четырехдневная) или уменьшенная длительность рабочей смены, наибольшее время непрерывной работы в условиях действия вредных производственных факторов, время и периодичность дополнительных перерывов в течение смены.

5.7 Экологическая безопасность

5.7.1 Анализ влияния объекта исследования на окружающую среду

В установке, где образцы нагреваются до проведения испытаний, возможно выделение токсичных веществ, которые представляют угрозу, как для человека, так и для окружающей среды – влияние на атмосферу [13, 14].

Фактором, влияющим на литосферу, является наличие твёрдых отходов. Отходы, в данном случае, образуются вследствие испытания полимерных материалов (резин).

5.7.2 Обоснование мероприятий по защите окружающей среды

Для защиты окружающей среды от вредных газов и пыли необходимо применять вытяжную вентиляцию со специальной системой очистки воздуха.

Для твердых отходов, предусмотрены места хранения, и в конце смены они очищаются. При удалении отходов с территории предприятия им присваиваются категории опасности и вывозятся на соответствующие полигоны.

Стоит также отметить, что для снижения вреда, наносимого окружающей среде при производстве электроэнергии, необходимо искать принципиально новые виды производства электроэнергии.

Отработанные люминесцентные лампы утилизируются в соответствии с Постановлением Правительства РФ от 03.09.2010 №681. Люминесцентные лампы, применяемые для искусственного освещения, являются ртутьсодержащими и относятся к 1 классу опасности, т.е. "чрезвычайно опасные". Отработанные газоразрядные лампы помещают в защитную упаковку, предотвращающую повреждение стеклянной колбы, и передают специализированной организации для обезвреживания и переработки.

5.8 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Существуют два основных направления ликвидации возникновения и последствий ЧС на административных объектах – это разработка организационных и инженерно-технических мероприятий. К инженерно-техническим мероприятиям относят: строительство защитных сооружений, создание санитарно-защитных зон вокруг потенциально опасных объектов, инженерное оборудование территории региона с учетом характера воздействия прогнозируемых ЧС. К организационным мероприятиям относятся: эвакуация работающих, подготовка работающих к действиям при ЧС, подготовка и поддержание в постоянной готовности сил и средств для ликвидации ЧС.

При неправильной эксплуатации оборудования и коротком замыкании электрической цепи может произойти возгорание. Исследуемое помещение с установкой относится к категории Д (наличие твердых сгораемых вещей) [25].

Необходимо проводить следующие пожарно-профилактические мероприятия: организационные мероприятия, касающиеся технического процесса с учетом пожарной безопасности объекта; эксплуатационные мероприятия, рассматривающие эксплуатацию имеющегося оборудования; технические и конструктивные, связанные с правильным размещением и монтажом электрооборудования и отопительных приборов.

К эксплуатационным мероприятиям можно отнести: соблюдение эксплуатационных норм оборудования, обеспечение свободного подхода к оборудованию, содержание в исправном состоянии изоляции токоведущих проводников.

К техническим мероприятиям относится соблюдение противопожарных требований при устройстве электропроводок, оборудования, систем отопления, вентиляции и освещения.

Наиболее дешевым и простым средством пожаротушения является вода, поступающая из обычного водопровода. Для осуществления эффективного

тушения огня используют пожарные рукава и стволы, находящиеся в специальных шкафах, расположенных в коридоре. В пунктах первичных средств огнетушения должны располагаться ящик с песком, пожарные ведра и топор.

Если возгорание произошло в электроустановке, для его устранения должны использоваться огнетушители углекислотные типа ОУ-2, или порошковые типа ОП-5. Кроме устранения самого очага пожара нужно, своевременно, организовать эвакуацию людей.

Заключение по разделу

В данном разделе были рассмотрены вопросы, которые обуславливают социальную ответственность работника и организации перед окружающей средой и природой.

Также были выявлены опасные факторы, влияющие на человека и окружающую среду: вредные вещества, электрический ток, а также акустический шум. Каждый фактор нормируется согласно требованиям ГОСТ и СНиП, в которых описываются все аварийные и вредные для человека ситуации, возникающие при работе.

Рассмотрены чрезвычайные ситуации, которые могут возникать при работе на установке. В результате, были выявлены опасные и вредные факторы рабочего места, характеризующие процесс взаимодействия трудящихся с окружающей производственной средой. Описано влияние этих факторов на организм человека. Кроме этого, были рассмотрены средства защиты от вредных и опасных факторов.

Заключение

В работе было исследовано влияние солнечного излучения на физико-механические характеристики полимерных оболочек кабельных изделий из сшитого полиэтилена и этиленпропиленовой резины.

Было произведено облучение образцов из сшитого полиэтилена и этиленпропиленовой резины в виде бухт кабелей в климатической камере солнечной радиации и тепла, после чего последовал визуальный осмотр образцов в соответствии с ГОСТ 20.57.406-81. В результате осмотра ни на одном образцов никаких признаков старения после солнечного излучения не обнаружено, следовательно, все изделия успешно прошли данное испытание.

Были произведены испытания лопаток, изготовленных из сшитого полиэтилена и этиленпропиленовой резины по ГОСТ ИЕС 60811-1-1-2011 на разрывной машине. В результате эксперимента было обнаружено изменение физико-механических характеристик, а именно увеличение предела прочности и значительное уменьшение относительного удлинения при разрыве в образцах из этиленпропиленовой резины. Изменения физико-механических характеристик в образцах из сшитого полиэтилена незначительны и составляют порядка 1-2 %.

Затем был произведен анализ результатов экспериментов и сделано предположение о наличии химической деструкции после солнечного излучения в присутствии кислорода, а также вероятности подвулканизации в процессе облучения.

Список использованной литературы

1. Герасименко А. А. Защита от коррозии, старения и биоповреждений машин, оборудования и сооружений: Справочник: В 2. т. Т.1. / Под ред. А. А. Герасименко. – М.: Машиностроение, 1987. – 688 с.
2. Основы кабельной техники: учебник для студ. высш. учеб. заведений / [В. М. Леонов, И. Б. Пешков, И. Б. Рязанов, С. Д. Холодный]; под ред. И. Б. Пешкова. – М.: Издательский центр «Академия», 2006. – 432 с.;
3. Ковригин Л. А. Основы кабельной техники. Конспект лекций. Пермь, ПГТУ, 2002 г.;
4. Специальные кабельные изделия: учебное пособие / В.М. Аникеенко, И.В. Флеминг; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2010. – 127 с.;
5. Глупушкин П.М. Кабельные резины. – М.: Энергия, 1986. – 352 с.
6. Григорьян А.Г., Дикерман Д.Н. Технология производства кабелей и проводов с применением пластмасс и резин. – М.: Машиностроение, 2011. – 367 с.;
7. Физика и химия полимеров. – Зуев В.В., Успенская М.В., Олехнович А.О.. Учеб. пособие. – СПб.: СПбГУ ИТМО, 2010 – 45 с.;
8. Книга о полимерах: свойства и применение, история и сегодняшний день материалов на основе высокомолекулярных соединений / Е.Б. Свиридов, В.К. Дубовый; Сев. федеральный университет. – 2-е изд., испр. и доп. – Архангельск: САФУ, 2016. – 392 с.: ил.;
9. Основные свойства полимеров: учебное пособие / В. М. Сутягин, О. С. Кукурина, В. Г. Бондалетов; Национальный исследовательский Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2010. – 96 с.;
10. Получение и свойства динамически вулканизированных термоэластопластических материалов: учебное пособие/С.И. Вольфсон, Н.А.

Охотина, А.И. Нигматуллина. – Казань: Изд-во Казанского национального исследовательского технологического университета, 2012. – 82 с.;

11. Герасименко А. А. Защита от коррозии, старения и биоповреждений машин, оборудования и сооружений: Справочник: В 2. т. Т.2. / Под ред. А. А. Герасименко. – М.: Машиностроение, 1987. – 688 с.

12. Пинчук Л. С. Полимерные пленки, содержащие ингибиторы коррозии/ Л.С.Пинчук, А.С.Неверов. – М.: Химия, 1993. – 176 с.

13. Кузнецов Е.В. Альбом технологических схем производства полимеров и пластических масс на их основе / Е. В. Кузнецов, И. П. Прохорова, Д. А. Файзулина. М.: Химия, 1976. – 108 с.

14. Брацыхин Е. А. Технология пластических масс / Е. А. Брацыхин. Л.: Ленинградское отделение госхимиздата, 1963 г. – 400 с.

15. Аникеенко В. М. Основы кабельной техники: учебное пособие / В. М. Аникеенко, С. С. Марьин, О. А. Анисимова. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2008. – 110 с.

16. ГОСТ ИЕС 60811-1-1-2011. Общие методы испытаний материалов изоляции и оболочек электрических и оптических кабелей. – Москва: Изд-во стандартов, 2013. – 26 с.

17. ГОСТ 20.57.406-81. Изделия электронной техники, квантовой электроники и электротехнические. Методы испытаний. – Москва: Изд-во стандартов, 1982. – 215 с.

18. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение: учебно-методическое пособие / Н.А. Гаврикова, Л.Р. Тухватулина, И.Г. Видяев, Г.Н. Серикова, Н.В. Шаповалова; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – 73 с.

19. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 01.04.2019)

20. ГОСТ 12.2.049-80 ССБТ. Оборудование производственное. Общие эргономические требования.
21. ГОСТ 12.0.003-2015 ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.
22. СанПиН 2.2.4.548–96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
23. СП 60.13330.2016 Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. Актуализированная редакция СНиП 41-01-2003.
24. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278–03. Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещённому освещению жилых и общественных зданий.
25. ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов.
26. ГОСТ 12.1.019-2017 ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.
27. ГОСТ 12.4.011-89 ССБТ. Средства защиты работающих. Общие требования и классификация.
28. ГОСТ 12.1.030-81 ССБТ. Электробезопасность. Защитное заземление, зануление.
29. ГОСТ Р ИСО 14738-2007. Безопасность машин. Антропометрические требования при проектировании рабочих мест машин.
30. Федеральный закон от 22.07.2013 г. №123 – ФЗ, Технический регламент о требованиях пожарной безопасности.
31. Ориентировочно безопасный уровень воздействия (ОБУВ) вредных веществ в воздухе рабочей зоны.
32. СанПиН 2.1.6.1032-01. Гигиенические требования к обеспечению качества атмосферного воздуха населенных мест.
33. ГОСТ Р 22.0.01-2016. Безопасность в ЧС. Основные положения.

ПРИЛОЖЕНИЕ I (справочное)

Section 1. Literature review

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5AM86	Самойлов Илья Алексеевич		

Руководитель ВКР:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ассистент ИШЭ	Матери Татьяна Михайловна			

Консультант – лингвист отделения иностранных языков:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент отд. иностраннных языков	Воробьева Виктория Владимировна	кандидат филолог. наук		

The effect of solar radiation on the physical and mechanical properties of polymeric materials.

Introduction

Light resistance is one of the main requirements for cable products used for surface cable laying. Products unable to resist solar radiation lose their original properties. Ageing under the influence of sunlight is a long process, therefore, an accelerated ageing method shall be applied in practice.

The complexity of the ageing issue lies mainly in the fact that the chemical nature of polymer materials is diverse; so the processes of polymer destruction and structuring are individual.

During a long term operation, power cables are subject to a range of loads. Mechanical stress weakens the power cable. Solar radiation is a factor accelerating the mechanical degradation of cable sheath. In this regard, the study of the resistance of cable products insulation to the effect of sunlight is an urgent task.

1 The effect of solar radiation on polymer insulating materials

During operation, products containing polymeric materials exposed to solar radiation gradually degrade. Ageing starts from the surface layers to the inner ones. For polymer films intended to modify the surface properties of various products, the ratio of surface area to layer thickness effects very significantly on the rate of structure changes and polymer properties.

Solar radiation is one of the factors of degradation, having a strong effect on the characteristics of polymeric materials. High-energy rays with a short wavelength produce the most destructive effect. Not only ionizing radiation is characterized by this fact, but also the ultraviolet visible wavelength spectrum. A lot of reactions of organic substances are initiated under the effect of radiation. Moreover, the chain nature of high molecular compounds determines their high sensitivity to radiation, greater than of their low molecular analogs. For example, the molecular weight of polymers varies upon irradiation much faster.

The possibility of photochemical transformations of polymers under the effect of radiation is determined by the presence in their chains of chromophore groups capable to absorb light. Such groups should not be present in the polymer resin itself, they may be contained in the form of impurities and composition ingredients. In particular, the groups that cause the absorption of radiation in ultraviolet spectrum include such bonds as carbon-carbon, carbon-nitrogen, carbon-oxygen, nitrogen-nitrogen, and some others. It should be noted that single C – C bonds absorb light with a wavelength of less than 180 nm, which corresponds to the conditions of deep vacuum, however, if there are double bonds in the same molecules, the absorbing capacity becomes possible with large wavelengths, and the more double, triple bonds the higher the absorbing capacity. In addition, in combination with these groups, some other groups of atoms come into synergy with them and significantly enhance the effect of photoaging of polymeric materials.

In general, radiation initiates a reaction in a polymer chain as follows:

- 1) first, the radiation energy is absorbed by the chromophore groups and the latter pass into an excited state;
- 2) after, the migration of energy and its localization in lower electronic levels among those that were excited occurs;
- 3) primary transformations and excited-state quenching;
- 4) secondary response involving radicals and intermediate products of primary reactions.

Special additives shall be used to protect vulnerable polymers from photoaging, - light stabilizers or other protection methods, such as special coatings or modification of the chemical and physical structure of the polymer. The basic principle of light stabilization is the inhibition of reactions in the polymer: both primary photochemical and secondary free radical. Four main mechanisms of light stabilization are known. The first is shielding the material from light by means of pigments or chemical compounds that effectively absorb UV radiation and convert it into heat. Such substances are called UV absorbers. The second method is to quench the excitation of an impurity by energy or electrons transfer. In this case, the stabilizer is called a quencher. The third method is based on the interaction of the stabilizer with free radicals formed during primary photoprocesses. As a rule, these are substances interacting with alken and peroxide radicals. The fourth method applies hyperoxide destructors decomposing intermediate products of the polymer degradation reaction without the forming free radicals. It should be noted that there is no strict compliance between the light stabilization mechanisms and the light stabilizers themselves, since one and the same light stabilizer can act in accordance with different mechanisms in combination with different polymers.

1.1 Electrical insulating materials applied in the production of low-voltage power cables

Polymer materials of various physicochemical, chemical, and physico-mechanical properties are used for manufacturing insulation and sheathing of cable products of concern.

It should be noted that the flow point cannot be fixed and determined with an accuracy of at least one degree, since polymers during the polymerization from monomers polymerize differently throughout the reactor volume, and, consequently, the molecular weight and chain length directly affecting the transition temperatures from one physical state to another, deviates in some way.

Thermosetting polymers at vulcanization temperatures, which have very wide range, form transverse chemical bonds between neighboring macromolecules. This process is called cross-linking or vulcanization. The above mentioned polymers are also capable of cross-linking when special additives are added from the resin - vulcanizing agents. Cross-linked polyethylene, rubber based on natural and synthetic rubbers are the most famous in electrical insulation technology.

Special attention should be paid to thermoplastic elastomers - polymer materials based on block copolymers, which have highly elastic properties characteristic of elastomers, but reversibly transforming into a plastic or viscous state at increased temperatures. The possibility of a reversible transformation from one physical state to another provides the advantages of processing plastics and valuable mechanical properties of elastomers. In addition, by adding thermoplastic elastomers to polymer compositions based on polypropylene, polystyrene and some other plastics, it is possible to increase the impact strength and frost resistance of polymer composition. The examples of this type are polyurethane, styrene, polyamide thermoplastic elastomers.

All polymer materials used in any field are used in the form of polymer compositions containing polymer resin and various additives: active and passive fillers, activators and transforming agents and anti-agers. We know about application of

several polymeric materials in one polymer composition, entering into synergy with each other, that is, enhancing some properties with respect to those under separate use of polymers.

Let us consider separately the most important properties of some materials used in electrical insulation technology.

Polyethylene refers to the class of polyolefins obtained by the polymerization reaction of ionic or radical mechanisms. In general, polyethylene is a white solid material in a thick layer and transparent in a thin layer. The glass transition temperature is about -80°C , that demonstrates good frost resistance of the material. Dielectric characteristics allow to use polyethylene as insulation for high-frequency electrical products. It is not soluble in water and has a low hygroscopicity. It is very resistant against acids and alkalis, however, when heated above $70-80^{\circ}\text{C}$, it partially dissolves in organic solvents. After prolonged time effect of increased temperature in the presence of oxygen, a deterioration of mechanical properties is observed, that points on destruction. Also, under the effect of increased temperatures, cross-linking of molecules can occur, that can be used in the manufacture of cross-linked polyethylene having properties significantly different from the properties of non-cross-linked polyethylene.

Three main types of polyethylene are known in industry: High pressure PE (low density), low pressure PE (high density), as well as medium pressure PE.

High pressure polyethylene is a branched polymer with a molecular weight of about 30,000. The chain structure, mostly straightforward, determines a high degree of crystallinity up to 75%. However, as temperature increases, the degree of crystallinity decreases, and the polymer becomes amorphous at 115°C . The links of the main chain are zigzag and consist of methylene groups. There are also side butyl, ethyl, propyl groups. High-pressure polyethylene is obtained from monomer units of ethylene in the presence of oxygen or organic peroxides as the initiator of the polymerization reaction. The process works by a radical chain mechanism with the pressure of 120-300 MPa and the temperature of $200-280^{\circ}\text{C}$. Within these limits, with increasing temperature

and pressure, the reaction accelerates, however, both the molecular weight and the degree of branching change.

Low-pressure and medium-pressure polyethylene are characterized by a slight branching, a more direct chain and, therefore, by a higher degree of crystallinity in comparison with high-pressure polyethylene. This determines higher heat resistance, density and tearing strength in comparison with high-pressure polyethylene. It is also known that low-pressure polyethylene is more resistant to various organic solvents and acids, and also somewhat more gas-tight.

However, low and medium pressure polyethylene is more difficult to process, and products of these types of polyethylene are less flexible. In addition, the dielectric loss tangent of low and medium pressure polyethylene is higher than that of high pressure polyethylene.

Low-pressure polyethylene is produced at a pressure of 0.2-0.5 MPa and a temperature of 50-80 ° C in the presence of complex organometallic catalysts.

Medium pressure polyethylene is polymerized at a pressure of 3.5-4 MPa and a temperature of 130-170 ° C in the presence of metal oxides as catalysts.

Table 1 - Polyethylene properties

Indicators	Polyethylene		
	High pressure	Low pressure	Medium pressure
Density, g/cm ³	0,918-0,930	0,949-0,955	0,960-0,970
Melt flow index, g/10 min	0.1-10	0.1-10	0.1-8
Tensile stress at break, MPa	10-17	22-30	20-40
Transverse rupture stress, MPa	12-17	20-35	—
Breaking elongation, %	500-600	300-800	200-900
Brinell hardness number, MPa	14-25	45-58	56-65
Melting points, °C	105-108	120-125	127-130
Brittle points, °C	from -80 to -120	from -100 to -150	from -100 to -150
Specific insulation resistance, TΩ·m	102	102	102
Dielectric loss tangent at 1 MHz	$3 \cdot 10^{-4}$ - $6 \cdot 10^{-4}$	$2 \cdot 10^{-4}$ - $5 \cdot 10^{-4}$	$2 \cdot 10^{-4}$ - $4 \cdot 10^{-4}$
Dielectric permittivity at 1 MHz	2.3	2.1 – 2.4	2.3

Polypropylene is a high molecular weight product of propylene polymerization in gasoline or propane at a pressure of 1-4 MPa and a temperature of 65-70 ° C. Isotactic polypropylene possesses valuable properties. It is a white thermoplastic polymer with a melting point higher than that of polyethylene, as well as a higher glass transition temperature. Therefore, this material is more heat-resistant, but less frost-resistant.

Polypropylene is completely insoluble in organic solvents, acids or alkalis at room temperature. When heated up to 80 ° C, it begins to dissolve in aromatic and chlorinated hydrocarbons. Only strong oxidizing agents, such as oleum, nitric acid, can effect noticeably. However, due to the presence of tertiary carbon atoms, polypropylene is prone to oxidative degradation in the presence of oxygen.

Table 2 - Polypropylene properties

Molecular weight	80,000-200,000
Density, mg/m ³	0.9-0.91
Tensile stress at break, MPa	25-40
Breaking elongation, %	200-800
Impact value, kJ/m ²	33-80
Brinell hardness number, MPa	60-65
Melting points, °C	160-170
Heat resistance, °C	160
Brittle points, °C	from -5 to -15
Specific insulation resistance, TΩ·m	8·10 ²
Dielectric loss tangent at 1 MHz	2·10 ⁻⁴ – 5·10 ⁻⁴
Dielectric permittivity at 1 MHz	2.2
Water absorption capacity for 24 h. %	0.01-0.03

Polyisobutylene is a rubber-like material obtained by polymerization of isobutylene in the presence of Friedel-Crafts catalysts. It has a very high resistance to a variety of chemical aggressive environments and moisture. Concentrated nitric acid is capable of destroying polyisobutylene only at temperatures above 80 ° C. It is significantly surpasses polyethylene and polypropylene in frost resistance. It is soluble

in aliphatic, aromatic and chlorinated hydrocarbons and mineral oils.

Polyisobutylene is characterized by low gas permeability, high dielectric performance, however, low mechanical strength and a strong strain relaxation tendency limit the use of polyisobutylene. However, it is known that when active fillers (carbon black, graphite, talc, etc.) are added to a composition based on polyisobutylene, strength increases and fluidity decreases. In addition, fillers in the main are a good light stabilizer.

Table 3 - Polyisobutylene properties

Molecular weight	175,000-225,000
Density, mg/m ³	0.91-0.93
Tensile stress at break, MPa	2-13.5
Breaking elongation, %	550-900
Glass transition point, °C	-74
Brittle points, °C	Up to -60
Specific insulation resistance, TΩ·m	10-100
Dielectric loss tangent at 1 MHz	$2 \cdot 10^{-4}$ - $5 \cdot 10^{-4}$

1.2 Methodology for assessing the resistance of cable products insulation and sheathing against the effect of solar radiation

At present, all products of the electrical, food, medical, and other industries are tested for resistance to photo-ageing if the products are designed and intended for operation in the open air or other places where light exposure is possible, and in particular the UV spectrum is of most interest. Light with a wavelength of up to 400 nm possesses the most significant detrimental effect on polymeric materials, however, in practice, light with a wavelength of less than 300 nm practically does not penetrate the Earth's surface through the upper atmosphere. Light of the visible spectrum in most cases has low photochemical activity with respect to known polymer materials, and is also poorly absorbed by them. Therefore, they typically test the resistance to sunlight in the wavelength range from 300 nm to 400 nm, with the exception of the aerospace industry, which requires testing for resistance in high vacuum conditions over an extended wavelength range.

The ageing method is regulated by GOST 20.57.406-81, which assigns the number 211 for the test on resistance to light radiation. In accordance with the standard, tests are carried out only after conditioning in normal climatic conditions, and during ageing, a certain temperature shall be maintained in the chamber $t = 55 \pm 2^\circ \text{C}$. Humidity, as a rule, shall not be controlled.

Cables are cut into segments of 1.5 m and coils are folded, after which they are fixed inside the climate chamber. Samples shall be placed in the chamber so that the vulnerable areas of the product will be exposed to the light flux. This effect can be achieved by rotating the table inside the chamber, as it is performed, for example, in the KTVSR-1 climatic chamber used during the study of this work.

The examination of product samples of electrical and other industries is the main way to determine the effect of solar radiation on the state of the product. Products subjected to photo-ageing are compared with those that have not undergone such a procedure, including application of optical means. After that the conclusion about the

presence or absence of visible defects on the surface of the product based on the subjective assessment of the observer shall be made. Although this method of assessment does not provide a quantitative description of the degree of destruction of the polymer, but at least it gives qualitative information about the apparent damage to the product.

1.3 Conclusion and research task definition

The foregoing demonstrates that the light resistance of polymeric materials is one of the main requirements for low-voltage power cables intended for laying in the open air .

The existing methodology does not allow to assess objectively the effect of solar radiation on the properties of insulation and the sheath of cable product, as well as strongly depends on the observer, that characterizes the standard procedure by subjective assessment of ageing. The available standard criteria for assessing the degree of photo-ageing are fuzzy and very arbitrary. In this regard, a comparative analysis of resistance to solar radiation according to standard method and determination of changes in the physico-mechanical properties of low-voltage power cables is an urgent task.

Conclusion

Solar radiation is an important factor of the acceleration of cable sheath mechanical degradation in surface cable laying. It can result in a deterioration of physical and mechanical properties, chemical resistance and, what is most important in electrical engineering, in decrease of insulation strength. In this regard, the study of the resistance of cable products insulation to the effect of sunlight taking into account the dynamics of physical and mechanical properties is an urgent task.

Moreover, under actual operating or storage conditions, a number of constant, random, or cyclic factors simultaneously affect the products what builds the need for taking a comprehensive study of the aging of polymeric materials and methods of their protection.